



TARİHİ YAPILARDA MİNERALojİK, PETROGRAfİK VE JEOTEKNİK ÇALIŞMALARIN ÖNEMİ: BİTLİS KALESİ ÖRNEĞİ (BİTLİS-DOĞU ANADOLU)

¹Tamer KORALAY, ¹Mehmet ÖZKUL, ¹Halil KUMSAR, ¹Sefer Beran ÇELİK, ²Kadir PEKTAŞ

¹Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, DENİZLİ

²İstanbul Medeniyet Üniversitesi, Sanat ve Tasarım Fakültesi, Sanat Tarihi ve Arkeoloji Bölümü, İSTANBUL

¹tkoralay@pau.edu.tr, ¹mozkul@pau.edu.tr, ¹hkumsar@pau.edu.tr, ¹scelik@pau.edu.tr,

²kadir.pektas@medeniyet.edu.tr

(Geliş/Received: 28.04.2014; Kabul/Accepted in Revised Form: 09.07.2014)

ÖZET: Tüf, ignimbirit gibi doğal taşlar düşük yoğunlukları, yüksek dayanımları, kolaylıkla şekillendirilebilmeleri ve mükemmel yalıtım özelliklerine sahip olmaları nedeniyle dünyanın birçok yerinde yapıtaşı olarak kullanılmaktadır. Ülkemiz Üst Miyosen - Pliyosen dönemlerinde oluşmuş, kaynaklaşmış ve kaynaklaşmamış özellikte ignimbirit yüzeylenmelerine ev sahipliği yapmaktadır. Bu ignimbiritler Anadolu Selçukluları ve Osmanlı dönemi tarihi yapılarında yaygın olarak kullanılmıştır. Bitlis ignimbiriti Özdemir (2003), Karaoğlu vd (2005) ve Özdemir vd (2006) tarafından “Nemrut ignimbiriti” olarak adlandırılmıştır. Bu makalede, Bitlis vadisi içerisinde, Bitlis ili ve çevresinde tip yayılım gösteren, oldukça iyi kaynaklaşmış ignimbirit Bitlis ignimbiriti adı altında çalışılmıştır. Bitlis ignimbiriti taban, orta ve tavan olmak üzere üç farklı seviyeden oluşmaktadır. En altta siyah, siyahımsı kahverengi renkli, camsı yapıda, oldukça iyi kaynaklaşmış taban seviyesi bulunur. Taban seviyesinin üzerinde kırmızımsı pembe-bordo renkli, orta-iyi derecede kaynaklaşmış orta seviye yer almaktadır. En üstte grimsi pembemsi renkli, daha az kaynaklaşmış, bol miktarda kayaç parçaları içeren tavan seviyesi bulunmaktadır. Mineralojik olarak Bitlis ignimbiriti sanidin + plajiyoklaz + piroksen + opak mineral ve daha az oranda anortoklaz’dan oluşan mineral bileşimine sahiptir. Makro ve mikro ölçeğinde dokusal olarak taban, orta ve tavan arasında belirgin bir farklılık bulunmaktadır. Bitlis ignimbiritinin taban seviyesi örneklerinde ötakstitik ve kalıntı perlitik doku hakim olmakla birlikte, bu seviye orta ve tavan seviyelere göre daha kompakt yapıdadır. Taban ve orta seviye örneklerinde yassılaştırmış pomza parçaları (fiamme) ve volkanik cam parçalarının (shard) oranları tavan seviyesi örneklerine göre daha fazladır. Kimyasal analizleri sonuçlarına göre Bitlis ignimbiriti örneklerinin bazı ayrışma indeks değerleri hesaplanmıştır. Buna göre taban seviyeden tavan seviyesine doğru Ruxton oranı, Parker ayrışma indeksi ve Yeniden uyarlanmış potansiyel ayrışma indeksi değerleri artarken, Vogt oranı, Kimyasal alterasyon indeksi, Kimyasal ayrışma indeksi ve kızdırma kaybı değerlerinin azalma gösterdiği belirlenmiştir. Yapıtaşlarını kullanım alanlarına göre sınıflandırabilmek için fiziko-mekanik özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Bitlis ignimbiriti düşük yoğunluklu olup, yoğunluk değerleri taban, orta ve tavan seviye örneklerinde sırasıyla 2.31, 1.88 ve 1.63 g/cm³ olarak belirlenmiştir. Gözeneklilik değerlerinin taban seviyeden tavan seviyeye doğru artış gösterdiği ve sırasıyla % 3.97, 19.11 ve 30.3 arasında değiştiği belirlenmiştir. Bitlis ignimbiritinin zayıf-orta derecede dayanımlı olup, tek eksenli sıkışma dayanımları tabandan üst seviyeye doğru sırasıyla 41.12, 25.03 ve 15.85 MPa olarak belirlenmiştir. Suda dağılmaya karşı duraylılık indeks değerleri yüksekten çok yükseğe kadar değişim göstermekte olup, taban seviye için % 98.34, orta seviye için % 98.30 ve tavan seviye için % 97.50 olarak belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: İgnimbirit, Doğu Anadolu, Bitlis Kalesi, Kimyasal Ayrışma İndisleri, Mekanik - Fiziksel Parametreler

The Importance of Mineralogical, Petrographic and Geotechnical Studies in Historical Heritage: The Bitlis Castle Case (Bitlis-Eastern Anatolia)

ABSTRACT: Natural stones such as tuff and ignimbrites are used extensively in many parts of the world as building materials because of light weight, strong, soft enough to be easily given form to useful blocks and perfect insulating properties. Turkey widely hosted welded and non-welded ignimbrites that formed during the Upper Miocene and the Pliocene times. They have been commonly used in historical building which had been built in the Anatolian Selçuklu and Ottoman empires times. The Bitlis ignimbrite is named by Özdemir (2003), Karaoğlu et al (2005) and Özdemir et al (2006) as “Nemrut ignimbrite”. In this paper, we approved that the most densely welded ignimbrite crops out typically along Bitlis valley and the vicinity of Bitlis city leading to use this ignimbrite as the Bitlis Ignimbrite. The Bitlis ignimbrite can be divided into three levels these are lower (LL), middle (ML) and upper (UL). The lower level (LL) shows black to blackish brown and glassy well-welded structure. Moderately welded middle level (ML) is reddish pink colour and has high amount of fiammes. The upper level (UL) of the ignimbrite has grey to greyish pink, weakly welded and rock fragments with different composition. The mineralogical composition of Bitlis ignimbrite is composed of sanidine + plagioclase + pyroxene + opaque minerals and less amount of anorthoclase. Each levels of Bitlis ignimbrite have clear differences in terms of macroscopic and microscopic views. Eutaxitic and relict perlitic texture is dominant in LL samples and this level has more compact structure than ML and UL. The amount of flattened pumice fragments and volcanic glass shards in LL and ML are more abundant than UL. Some chemical indices used for the characterization of the degree of weathering in Bitlis ignimbrite are calculated based on chemical analyses results. From LL to UL, there is an increase of Ruxton Ratio, Weathering Index of Parker and Modified Weathering Potential Index values, whereas a decrease can be observed for Vogt's Residual Index, Chemical Alteration Index, Alumina to Calcium-Sodium Oxide Ratio and Loss on Ignition values. Building stones can be classified according to their mineralogy, mechanical and physical properties and processing types. Mechanical and physical properties are more significant depending on the stones practice aim. Bitlis ignimbrites are of low density 2.31, 1.88 and 1.63 g/cm³ for LL, ML and UL respectively they also have high porosity ranging between 3.97, 19.11 and 30.3 (%) for LL, ML and UL respectively. Strength of Bitlis ignimbrites are very weak to moderate in compression, 41.12, 25.03 and 15.85 MPa for LL, ML and UL respectively. Slake durability index ranges from high to very high, 98.34 for LL, 98.30 for ML and 97.50 for UL.

Key Words: Ignimbrite, East Anatolia, Bitlis Castle, Chemical Weathering Indices, Mechanic-Physical parameters

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Ülkemiz coğrafyası üzerinde görülen ve çok çeşitli doğal taşların kullanılmasıyla inşa edilmiş tarihi yapılar ne kadar eski ve kötü şartlar altında kalmış da olsa uzun yıllar ayakta kalmış, yapıldığı döneme ait önemli bilgileri günümüze kadar beraberinde getirmiştir. Tarihi eserlerin yapımında kullanılan, kötü atmosfer şartlarına uzun süre dayanabilen, özenle seçilmiş kayalar bile belli bir dönem sonra ayrışmakta, ayrışmanın hız kazanmasıyla tarihi yapının yok olmasına kadar varan tehlikeli sonuçlar doğurabilmektedir. Kullanılacak yere ve amaca uygun doku ve özellikte kayaların seçilmemiş olması ya da aynı taş ocağından olmasına rağmen farklı ve kötü özellik gösteren kesimlerinden kayaların seçilmesi ileride karşılaşılabilecek pek çok bozulmaya neden olmaktadır. İgnimbirit türü kayalar düşük yoğunluğa ve yüksek yalıtım özelliğine sahip olması, kolay şekil verilebilmesi nedeniyle ülkemizde çok sayıda tarihi yapılarda yaygın olarak kullanılmış/kullanılan doğal taşlardan birisidir. Bu çalışmanın amacı; tarihi Bitlis Kalesinin üzerinde bulunduğu ve kale taşlarının yapımında kullanılan, Bitlis ignimbiritinin mineralojik, petrografik ve fiziko-mekanik özelliklerini ortaya çıkarmak ve yapı taşı olarak mühendislik özelliklerini belirlemektir.

kumtaşları ve evaporitlerdir. Bölgede neotektonik dönemde kıta-kıta çarpışmasıyla ilişkili olarak gelişen sıkışma tektoniğinin ürünü olan en önemli yapısal unsurlar;

- D-B doğrultulu kıvrımlar,
- D-B doğrultulu yüksek açılı bindirmeler,
- KD-GB doğrultulu sol yönlü doğrultu atımlı faylar,
- KB-GD doğrultulu sağ yönlü doğrultu atımlı faylar ve
- K-G doğrultulu açılma çatlaklarıdır (Şengör vd 1985; Dewey vd 1986; Şaroğlu ve Yılmaz 1986; Ercan vd 1990; Bozkurt, 2001).

Doğu Anadolu’da görülen volkanik faaliyet, Orta Miyosende Arap plakası ile Anadolu plakası arasındaki kıta-kıta çarpışması ile başlamıştır. Neotektonik dönemde oluşan K-G doğrultulu açılma çatlaklarına bağlı olarak gelişmiş çok miktarda volkanik çıkış merkezi bulunmaktadır. Bölgedeki volkanik kayalar alkali ve kalk-alkali karakterli olup, bazalttan riolite kadar değişen bileşimde görülmektedir. Günümüzde hala Doğu Anadolu bölgesi K-G yönde sıkışmakta ve kabuğu kalınlaşmaktadır. Kalınlaşan kabukta oluşan çatlaklardan, kabuğun altta kısmî ergimesi ve daha alttaki üst manto malzemesi ile karışması sonucunda oluşan genç volkanik kayalar çıkarak bölgeye yayılmış ve kıtasal kabuğun evrimine koşturarak değişiklikler göstermişlerdir (Şengör and Kidd 1979; Şengör 1979, 1980; Şengör ve Yılmaz 1981; Şaroğlu ve Yılmaz 1984, 1986; Ercan vd. 1990, Türker 1991; Buket ve Temel 1998; Aydar vd 2003; Karaoğlu vd 2005; Özdemir vd 2006; Ulusoy vd 2008).

MATERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

Bitlis ignimbiritinin taban ve tavan seviyelerindeki değişimleri yansıtabilecek tarzda örnekleme yapılmış, bu örneklerden petrografik incelemeler için ince kesitler hazırlanmıştır. Hazırlanan 50 adet ince kesit üzerinde mineralojik bileşim, dokusal tanımlama gibi mineralojik ve petrografik incelemeler yapılmıştır. Bu incelemeler Pamukkale Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Optik Mineraloji Laboratuvarında, “Leica DMEP marka polarize mikroskop” kullanılarak yapılmıştır.

Bitlis ignimbiritinin jeokimyasal özelliklerini belirlemek amacıyla belirlenen lokasyonlardan alınan kayalar örneklerinden toz numuneler hazırlanmış, bu örneklerin kimyasal analizleri Ankara Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Mineraloji ve Petrografi Araştırma Laboratuvarında “Spectro XLAB 2000 PEDXRF (Polarized Energy Dispersive XRF)” cihazı kullanılarak yapılmıştır. Analizler USGS’in volkanik kayalar (bazalt, andezit) için oluşturduğu standartlar kullanılarak kalibre edilmiştir.

Bitlis ignimbiritinin mekanik ve fiziksel parametrelerini belirleyebilmek için araziden blok şeklinde numuneler alınmıştır. Blok numuneler üzerinde Pamukkale Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Kaya ve Zemin Mekaniği Laboratuvarında ISRM (1981 ve 2007) tarafından önerilen yöntemlere göre jeomekanik deneyler yapılmıştır. Bu deneylerde kullanılmak üzere blok numunelerden karot ve parça numuneler alınmıştır. Hazırlanan karot numuneler üzerinde kuru birim hacim ağırlık, doymuş birim hacim ağırlık, tane birim hacim ağırlık ve porozite ölçümleri, domas-çözünme deneyi, suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi deneyi, tek eksenli sıkışma deneyleri yapılmıştır.

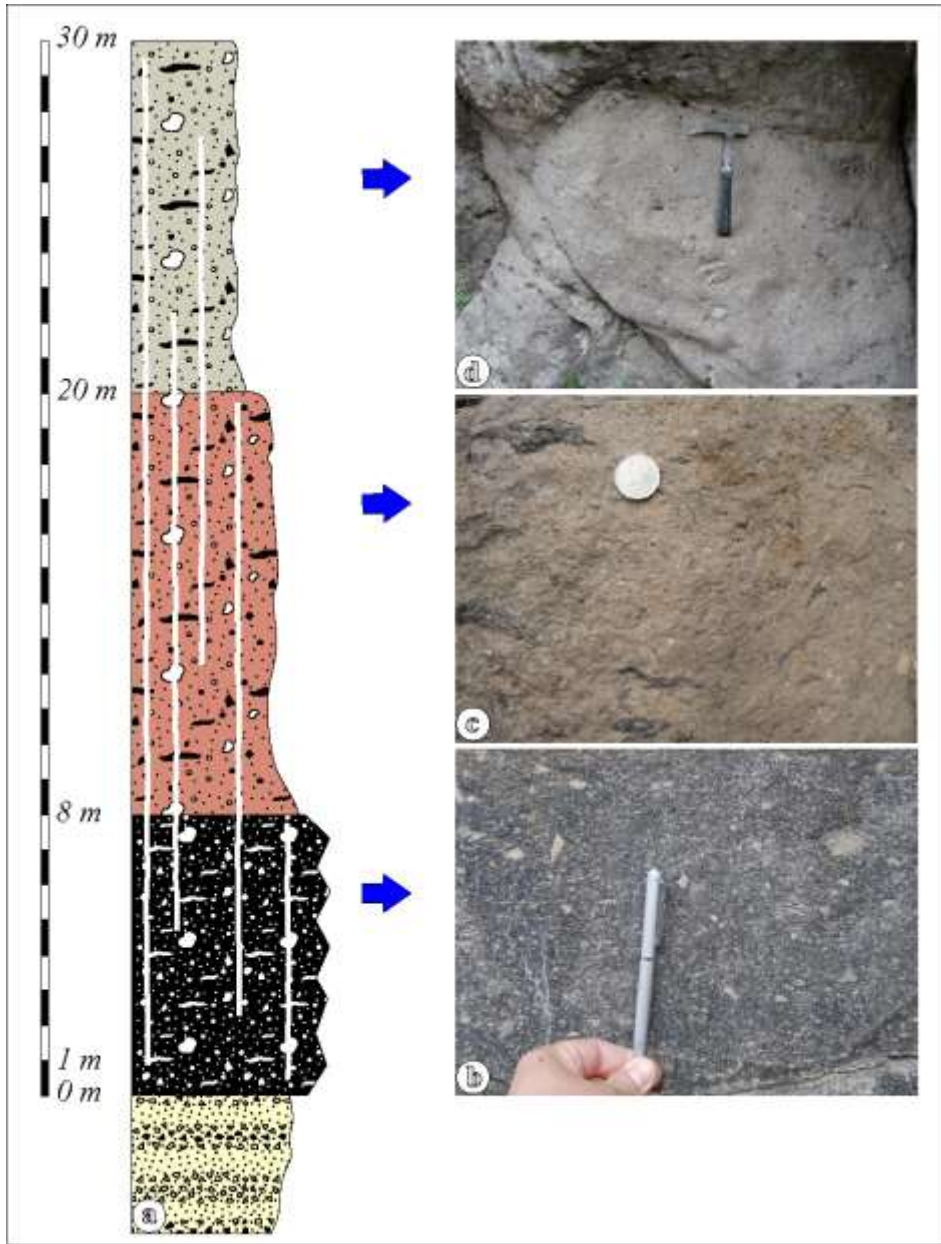
BİTLİS İGNİMBİRİTLERİNİN JEOLojİK ÖZELLİKLERİ (GEOLOGICAL PROPERTIES OF BİTLİS İGNİMBRITES)

İnceleme alanında, Bitlis ignimbiriti vadi birikimi (valley pond) çökelleri şeklinde, ortalama kalınlığı 30-50 m arasında değişen, farklı derecelerde kaynaklanmış, üç seviye halinde görülmektedir (Şekil 2a). En altta atmosferle temas halinde olan yüzeyleri koyu kahverenkli, taze kırık yüzeyleri siyah renkli olan, homojen bir görünüme sahip, oldukça iyi kaynaklanmış taban seviyesi bulunmaktadır (Şekil 2b). Camsı yapıda görülen taban seviyesinin ortalama kalınlığı 5-8 m arasında değişmektedir. Taban seviyesi içerisinde

boyutları 0.5-2.5 cm arasında değişen, yuvarlak ve/veya köşeli şekilli, çoğunlukla metamorfit bileşimli kayaç parçaları görülmektedir.

Taban seviyesinin üzerine morfolojide girinti şeklinde görülen, kırmızımsı pembemsi renkli, homojen bir içyapıya sahip, oldukça iyi derecede kaynaklanmış orta seviye gelir (Şekil 2c). Orta seviye; daha küçük boyutlu, nisbeten yuvarlaklaşmış kayaç parçaları ve bol miktarda fiamme yapıları içerir.

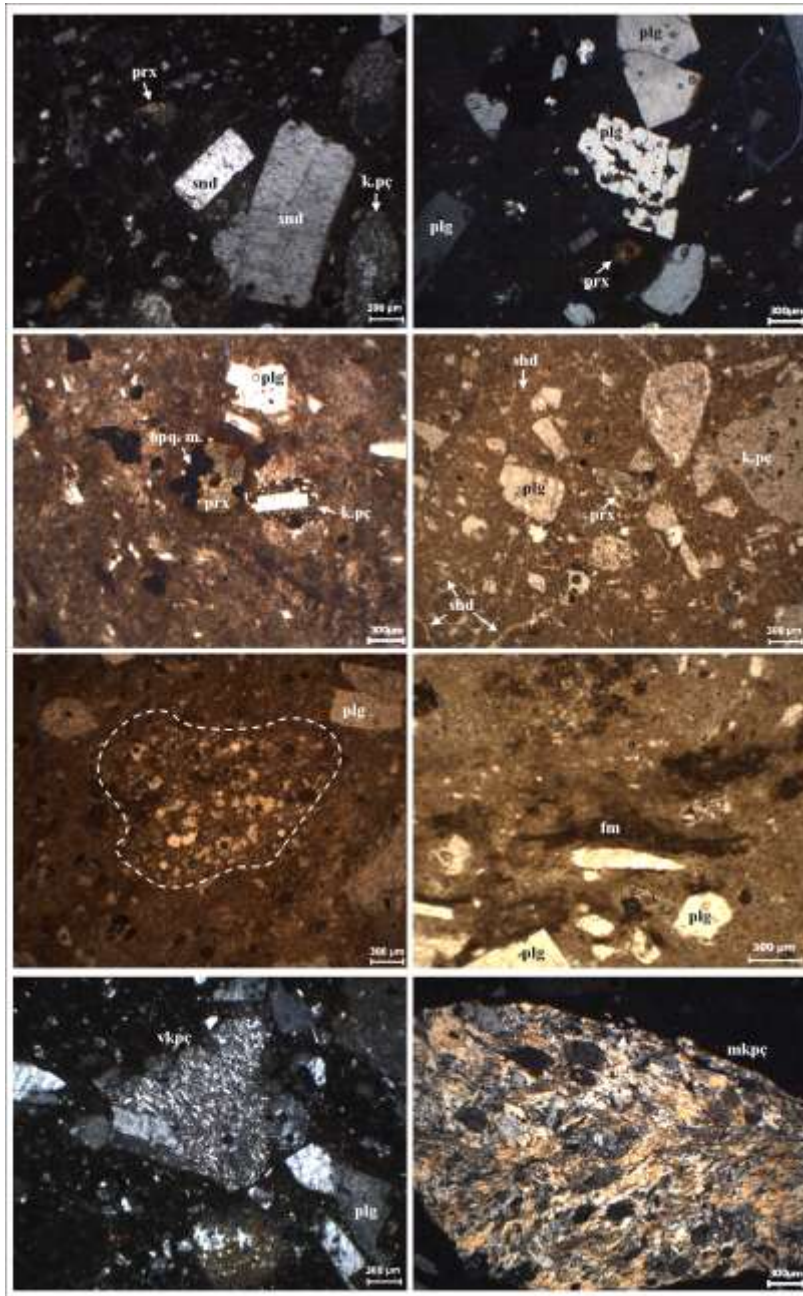
Bitlis ignimbiritinin en üst kısmında gri renkli, daha az kaynaklanmış tavan seviyesi bulunmaktadır (Şekil 2d). Bol miktarda kayaç parçası, pomza ve boşluk içeren tavan seviyesi, yaklaşık 5-10 m arasında değişen kalınlığa sahiptir. Diğer iki seviyeye göre daha kolay kırılabilen ve ufalanabilen bu seviye içerisinde grimsi beyaz renkli, gözenekli, boyutları 1.5-5 cm arasında değişen, düşük yassılaşıma oranına sahip pomza türü bileşenler görülmektedir.



Şekil 2. a) Bitlis ignimbiritinin genelleştirilmiş kolon kesiti b) taban ve c) orta seviyenin arazi görünüşleri d) tavan seviyesinin arazi görünüşleri (*Generalized stratigraphic column section of Bitlis Ignimbrite (a), field views of bottom (b), middle (c) and upper (d) levels*)

BİTLİS İGNİMBİRİTLERİNİN PETROGRAFİK ÖZELLİKLERİ (PETROGRAPHIC PROPERTIES OF BİTLİS İGNIMBRITES)

Bitlis ignimbiriti petrografik bileşenler bakımından volkan camı kıymıkları (shard), pomza ve pomza parçaları, kristal ve kristal parçaları ile litik bileşenlerden oluşmaktadır. Mineralojik bileşim olarak sanidin + plajiyoklaz + anortoklaz + piroksen (ojit) + opak mineraller görülmektedir (Şekil 3). Dokusal özellikler açısından Bitlis ignimbiritinin taban, orta ve tavan arasında belirgin bir farklılık görülmektedir. Özellikle ignimbiritin taban seviyelerinde kalıntı perlitik dokunun tipik özelliği olan, konsantrik halkalar şeklinde görülen ve volkan camının ani soğuması sonucu oluşan mikro ölçekli çatlaklar görülmektedir. Bununla birlikte camsı bileşenleri oluşturan volkan camı kıymıklarının (shard) diğer bileşenlerin etrafını sarması sonucu oluşan ötakstitik doku görülmektedir. Bitlis ignimbiritini oluşturan orta seviye örneklerinde ötakstitik (eutaxitic) doku, tavan seviye örneklerinde vitrofirik doku görülmektedir (Şekil 3).



Şekil 3. Bitlis ignimbiritini oluşturan mineralojik bileşenlerin mikroskop görüntüleri (snd: sanidin, plag: plajiyoklaz, prx: piroksen, op.m: opak mineral, vkc: volkanik kayaç parçası, mkpc: metamorfik kayaç parçası) (Microscope views of mineralogical components of Bitlis Ignimbrite (snd: sanidine, plag: plagioclase, prx: pyroxene, op.m: opaque mineral, vkc: volcanic rock fragment, mkpc: metamorphic rock fragment))

BİTLİS İGNİMBİRİTLERİNİN JEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ (GEOCHEMICAL PROPERTIES OF BİTLİS İGNİMBRİTES)

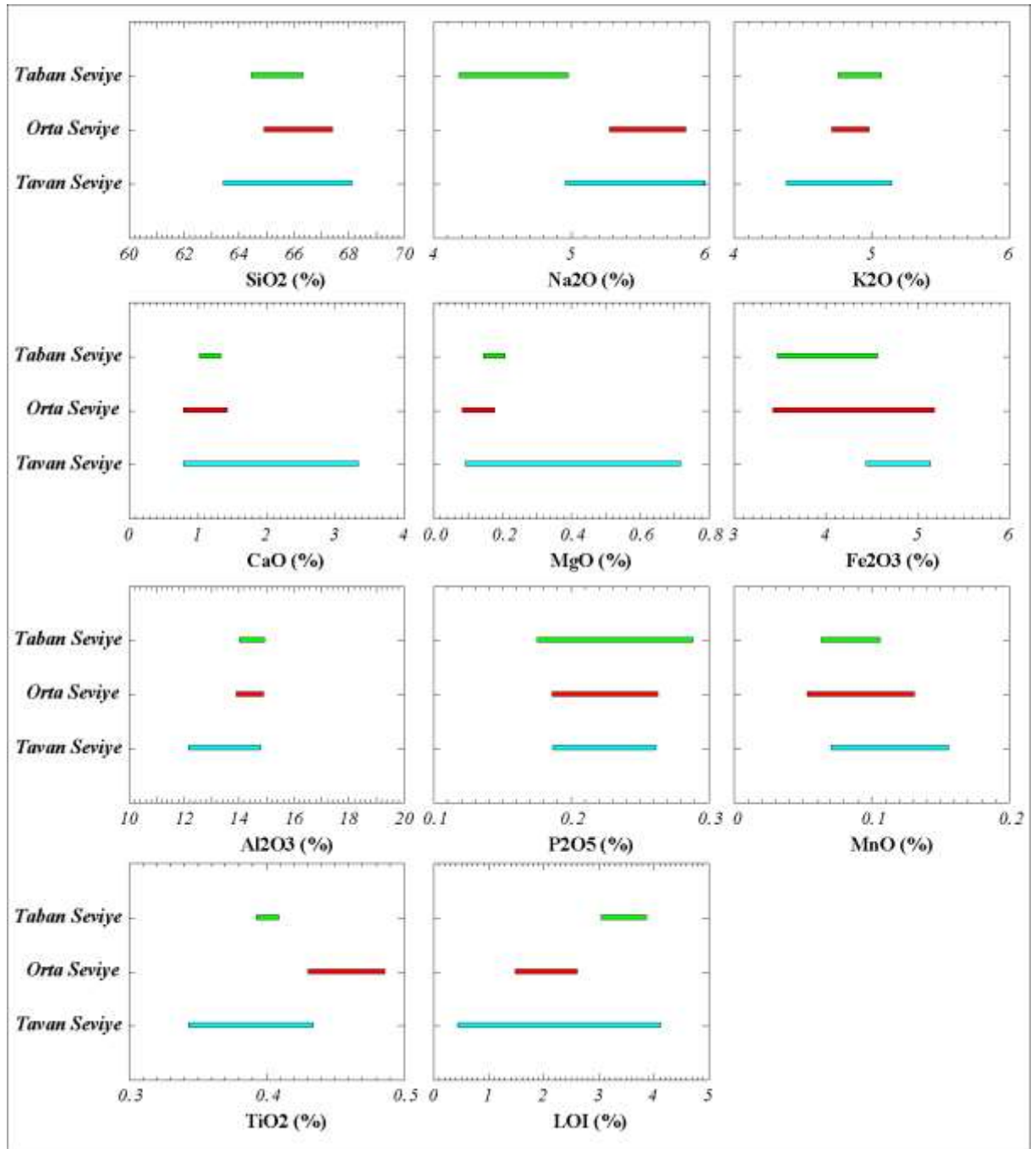
Bitlis ignimbiritinin jeokimyasal özelliklerini belirlemek amacıyla; Bitlis kalesi tip lokasyonundan alınan sistematik örneklerden ana, iz ve bazı nadir toprak element analizleri yapılmış, Bitlis kalesi yapıtaşlarının kimyasal özellikleri belirlenmiştir. Örneklerin kimyasal analiz sonuçları Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Bitlis ignimbiriti farklı seviyelerden alınan örneklerin ana oksit ve bazı iz element analiz sonuçları (*Main oxide and some trace element analysis results of different levels of Bitlis Ignimbrites*)

Örnek No	TABAN SEVİYE						ORTA SEVİYE						TAVAN SEVİYE					
	TBK-2	TBK-3	TBK-4	TBK-5	TBK-6	TBK-7	TBK-8	TBK-9	TBK-10	TBK-11	TBK-12	TBK-13	TBK-14	TBK-15	TBK-16	TBK-17	TBK-18	TBK-19
SiO ₂ (%)	65.94	66.56	64.85	65.55	65.72	63.77	67.87	66.89	66.16	66.44	65.64	64.09	67.81	64.60	61.52	66.78	67.32	66.69
Na ₂ O (%)	4.16	4.30	4.67	4.35	5.25	4.80	6.06	5.54	5.52	5.18	5.60	5.47	5.98	4.89	4.79	5.86	5.56	5.76
K ₂ O (%)	5.02	5.13	4.85	4.93	4.91	4.65	5.06	4.88	4.86	4.68	4.92	4.71	5.02	4.10	4.57	5.02	5.14	4.75
CaO (%)	1.03	0.93	1.28	1.34	1.29	1.30	0.84	1.04	1.26	0.92	0.93	1.72	1.00	3.95	3.49	1.43	1.24	1.36
MgO (%)	0.18	0.13	0.23	0.19	0.18	0.16	0.04	0.14	0.18	0.15	0.11	0.17	0.08	0.86	0.72	0.35	0.22	0.20
Fe ₂ O ₃ (%)	4.11	3.44	3.32	4.18	4.29	4.79	3.55	3.68	3.79	5.01	4.04	5.77	4.54	4.84	4.20	5.09	4.94	5.15
Al ₂ O ₃ (%)	13.98	14.36	14.99	14.70	13.94	15.06	15.09	14.62	14.60	13.91	14.66	13.72	14.54	11.03	12.90	14.21	14.15	14.23
P ₂ O ₅ (%)	0.17	0.18	0.30	0.22	0.24	0.29	0.21	0.20	0.19	0.20	0.27	0.28	0.19	0.27	0.20	0.19	0.23	0.27
MnO (%)	0.08	0.07	0.07	0.08	0.13	0.08	0.10	0.11	0.07	0.05	0.07	0.16	0.19	0.07	0.07	0.13	0.12	0.10
TiO ₂ (%)	0.41	0.40	0.40	0.42	0.39	0.39	0.48	0.49	0.47	0.46	0.44	0.41	0.43	0.31	0.37	0.41	0.38	0.43
LOI (%)	3.83	3.38	3.93	3.27	2.78	3.66	1.12	1.63	2.07	2.50	2.47	2.57	1.02	3.67	5.46	1.36	1.14	1.06
Toplam (%)	98.90	98.87	98.89	99.22	99.12	98.96	100.42	99.21	99.17	99.50	99.15	99.07	100.79	98.59	98.29	100.82	100.45	100.01
Ba (ppm)	750.6	739.8	787.6	875.6	824.1	930.3	1053.0	1082.0	1016.0	988.2	1016.0	1007.0	1005.0	1065.0	981.7	1064.0	1093.0	1084.0
Rb (ppm)	147.8	150.2	140.5	138.7	144.1	131.8	127.7	127.7	125.3	119.1	122.0	129.3	139.5	115.2	126.4	130.6	139.9	131.9
Sr (ppm)	49.2	47.4	64.1	63.8	62.1	75.1	104.0	110.2	107.7	100.1	104.9	106.4	107.7	155.3	129.3	122.2	120.8	124.0
Zr (ppm)	785.2	801.8	822.2	761.8	751.0	767.4	722.8	729.9	694.2	674.4	700.6	675.7	709.5	562.3	623.6	653.7	662.2	664.0
Hf (ppm)	17.4	16.4	18.1	18.7	15.2	17.5	14.8	17.6	16.3	15.3	16.3	14.9	16.8	15.1	14.3	15.9	15.7	15.4
Y (ppm)	74.0	74.2	72.0	70.5	73.0	64.5	67.8	69.6	66.1	58.5	84.8	64.1	70.0	177.6	61.4	79.6	70.9	70.3
U (ppm)	6.1	6.5	6.4	6.3	6.5	6.5	6.8	6.8	6.6	5.4	5.8	6.3	6.2	6.0	6.5	5.8	5.6	6.4
Th (ppm)	21.2	21.9	21.8	20.2	19.8	21.4	21.4	20.4	20.1	18.4	20.7	18.1	19.8	14.9	17.8	18.0	18.8	17.9
La (ppm)	66.2	72.6	68.9	73.1	67.6	60.7	66.6	75.7	69.3	60.2	97.7	54.2	64.5	74.1	66.2	67.1	66.1	69.0
Ce (ppm)	133.3	148.8	137.5	147.4	135.8	119.9	111.9	131.0	134.1	103.8	128.6	122.7	129.7	101.5	101.7	118.7	123.2	136.2
Nd (ppm)	21.6	61.0	31.9	58.6	46.7	21.8	26.5	63.9	62.3	37.5	87.6	43.1	54.0	62.6	50.6	59.5	59.4	70.3
Nb (ppm)	39.2	40.2	40.7	38.6	38.6	39.5	36.3	37.3	35.1	34.3	36.3	34.5	35.6	31.1	31.6	32.7	32.4	33.3
Ta (ppm)	6.4	7.9	6.1	6.4	12.5	8.1	8.2	7.3	6.2	6.2	5.9	6.0	10.5	3.2	6.4	6.6	7.4	7.8

Genel olarak Bitlis ignimbiritinin SiO₂ içeriği %61.52-67.87 arasında değişiyorken, Na₂O %4.16-6.06, K₂O %4.10-5.14, CaO %0.84-3.95, MgO %0.04-0.86, Fe₂O₃ %3.32-5.77, Al₂O₃ %11.03-15.09, P₂O₅ %0.17-0.30, MnO %0.05-0.19, TiO₂ %0.31-0.49 ve kızdırma kaybı (Loss On Ignition, LOI) %1.02-5.46 arasında değişmektedir. Bitlis ignimbiritinin ana oksit element içeriklerinin seviyelere göre değişim aralıkları Şekil 4’de gösterilmiştir.

Bitlis ignimbiriti tavan seviye örneklerinde orta ve taban seviye örneklerine göre ana oksit içeriği bakımından daha geniş ve düzensiz değişim aralıkları görülmektedir. Bu durumun tavan seviye içerisinde bol miktarda görülen litik bileşen içeriği ve fiziksel ve/veya kimyasal ayrışmadan kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 4. Bitlis İgnimbiriti taban, orta ve tavan seviye örneklerinin ana oksit (%) değer dağılım aralıkları (*Major Oxide distributions of bottom, middle and upper level of Bitlis Ignimbrite*)

BİTLİS İGNİMBİRİTLERİNİN AYRIŞMA İNDİSLERİ (WEATHERING INDICES OF BİTLİS İGNİMBRITES)

Tarihi eserlerin yapımında kullanılan, kötü atmosfer şartlarına uzun süre dayanabilen, özenle seçilmiş kayalar bile belli bir dönem sonra ayrışmakta, ayrışmanın hız kazanmasıyla tarihi yapının yok olmasına kadar varan tehlikeli sonuçlar doğurabilmektedir. Ayrışma süreçleri boyunca kayaç ve/veya mineral kimyasında önemli değişiklikler meydana gelmektedir. Bu değişimler sırasında kayaç ve/veya mineral içerisindeki Na, Ca, K, Mg, Si, Al, Fe gibi elementler sıralı şekilde ortamdan

uzaklaştırılmaktadır. Kayaçların kimyasal analiz sonuçları kullanılarak farklı araştırmacılar tarafından değişik ayrışma indeksleri geliştirilmiştir. Kimyasal analizleri yapılan Bitlis ignimbiriti örneklerinin Çizelge 2’de eşitlikleri verilen indeks değerleri seviyelere göre hesaplanmış, sonuçlar Çizelge 3’de verilmiştir.

Çizelge 2. Magmatik kayaçlarda ayrışma derecesini karakterize eden bazı ayrışma indisleri ve formülleri (*Some weathering indices for magmatic rocks*)

Ayrışma İndeksi	Simg e	Formülü	Kaynak
Ruxton oranı (Ruxton Ratio)	RR	$RR = mol \frac{SiO_2}{Al_2O_3}$	<i>Ruxton (1968)</i>
Parker ayrışma indeksi (Weathering Index of Parker)	WIP	$WIP = \left[\frac{2Na_2O}{0,35} + \frac{MgO}{0,90} + \frac{2K_2O}{0,25} + \frac{CaO}{0,70} \right]$	<i>Parker (1970)</i>
Vogt oranı (Vogt’s Residual Index)	VR	$VR = \frac{(Al_2O_3 + K_2O)}{(CaO + MgO + Na_2O)}$	<i>Vogt (1927); Roaldset (1972)</i>
Kimyasal alterasyon indeksi (Chemical Alteration Index)	CIA	$CIA = \frac{Al_2O_3 \times 100}{(Al_2O_3 + CaO + Na_2O + K_2O)}$	<i>Nesbitt and Young (1982)</i>
Yeniden uyarlanmış potansiyel ayrışma indeksi (Modified Weathering Potential Index)	MWPI	$MWPI = \frac{(K_2O + Na_2O + CaO + MgO) \times 100}{(SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3 + CaO + MgO + Na_2O + K_2O)}$	<i>Reiche (1943)</i>
Kimyasal ayrışma indeksi veya ACN oranı (Alumina to Calcium-Sodium Oxide Ratio)	CIW	$CIW = \frac{Al_2O_3 \times 100}{(Al_2O_3 + CaO + Na_2O)}$	<i>Harnois (1988)</i>

Parker ayrışma indeksi (WIP) değerleri taban seviye örneklerinde 69.55-76.32 arasında, orta seviyede 73.46-82.09 ve tavan seviyede 71.99-81.64 arasında değişmektedir. Taban seviye örneklerinin WIP değerleri orta ve tavan seviye örneklerine göre daha düşük değerlerdedir.

Vogt oranı (VR) değerleri taban seviye örneklerinde 2.81-3.64, orta seviye örneklerinde 2.51-2.98 ve tavan seviye örneklerinde 1.56-2.77 arasındadır. Taban seviye örneklerinin VR değerlerinin diğer iki seviyeye göre yüksek olması bu seviyede bol miktarda görülen, amorf yapıya sahip volkan camı kıymıklarının (shard) varlığıyla ilişkilendirilebilir. Bilindiği gibi volkan camı termodinamik olarak duraysız olup, diğer mineral fazlarına oranla daha kolay bozunmaya uğrar (Fisher and Schmincke 1984). Sıcak akma çökellerinde birikim sırasında ve sonrasında görülen en önemli değişimlerden biri camsı bileşenlerin devitrifikasyonudur. Devitrifikasyon iyi kaynaklaşmış ignimbiritler ve kaldera içi ignimbirit oluşumlarında yaygın olarak görülmektedir. Volkan camının devitrifikasyonu sonucu meydana gelen ürünler oldukça ince taneli kristobalit ve alkali feldispatlardan oluşabilmektedir (Cas and Wright 1988, Fisher and Schmincke 1984).

Kimyasal alterasyon indeksi (CIA) değerleri taban seviyede 54.91-58.37, orta seviyede 53.55-56.34 ve tavan seviyede 46.02-54.79 arasında değişim göstermektedir. CIA değerleri kayaç içerisindeki kil minerallerinin artışına paralel olarak artış göstermektedir. Bitlis ignimbiritinde taban seviyeden tavan seviyeye doğru CIA değerlerinde azalma görülmektedir.

Yeniden uyarlanmış potansiyel ayrışma indeksi (MPWI) değerleri taban seviye örneklerinde 11.01-12.17 arasında değişiyorken, orta seviye örneklerinde 11.35-12.62 ve tavan seviye örneklerinde 12.20-14.72 arasında değişmektedir. MWPI değerleri taban seviyeden tavan seviyeye doğru azalma gösterdiği belirlenmiştir.

Kimyasal ayrışma indeksi (CIW) değerleri taban seviyede 68.08-73.29 arasındayken, orta seviyede 65.61-69.53 ve tavan seviyede 55.51-67.75 arasındadır. Bitlis ignimbiritinde CIW değerlerinin taban seviyeden tavan seviyeye doğru azalma görülmektedir. Ayrıca CIA değerleri ile CIW değerleri arasında bir uyum görülmektedir.

Çizelge 3. Bitlis ignimbiriti taban, orta ve tavan seviye örneklerinin hesaplanan ayrışma indisleri
(*Calculated indices of bottom, middle and top levels of Bitlis Ignimbrites*)

TABAN SEVİYE							
Sample	RR	WIP	VR	CAI	MPWI	CIW	LOI
TBK-2	8.01	69.55	3.53	57.78	11.01	72.91	3.83
TBK-3	7.87	71.17	3.64	58.09	11.06	73.29	3.38
TBK-4	7.34	72.00	3.21	58.12	11.71	71.58	3.93
TBK-5	7.57	70.59	3.34	58.05	11.35	72.09	3.27
TBK-6	8.00	76.32	2.81	54.91	12.17	68.08	2.78
TBK-7	7.19	71.17	3.15	58.37	11.54	71.19	3.66
Minumum	7.19	69.55	2.81	54.91	11.01	68.08	2.78
Maximum	8.01	76.32	3.64	58.37	12.17	73.29	3.93
Ortalama	7.66	71.80	3.28	57.55	11.47	71.52	3.47
ORTA SEVİYE							
TBK-8	7.63	82.09	2.90	55.79	12.18	68.62	1.12
TBK-9	7.77	77.58	2.91	56.08	11.97	68.98	1.63
TBK-10	7.69	77.64	2.79	55.65	12.26	68.28	2.07
TBK-11	8.11	73.46	2.98	56.34	11.35	69.53	2.50
TBK-12	7.60	78.12	2.95	56.15	12.05	69.18	2.47
TBK-13	7.93	76.81	2.51	53.55	12.62	65.61	2.57
Minumum	7.60	73.46	2.51	53.55	11.35	65.61	1.12
Maximum	8.11	82.09	2.98	56.34	12.62	69.53	2.57
Ortalama	7.79	77.62	2.84	55.59	12.07	68.37	2.06
TAVAN SEVİYE							
TBK-14	7.92	81.52	2.77	54.79	12.20	67.57	1.02
TBK-15	9.94	71.99	1.56	46.02	14.64	55.51	3.67
TBK-16	8.09	74.24	1.94	50.10	14.72	60.90	5.46
TBK-17	7.98	81.64	2.52	53.59	12.82	66.10	1.36
TBK-18	8.08	80.24	2.75	54.22	12.34	67.53	1.14
TBK-19	7.96	78.58	2.59	54.52	12.30	66.66	1.06
Minumum	7.92	71.99	1.56	46.02	12.20	55.51	1.02
Maximum	9.94	81.64	2.77	54.79	14.72	67.57	5.46
Ortalama	8.33	78.03	2.35	52.21	13.17	64.05	2.29

Son olarak Bitlis ignimbiriti kızdırma kaybı (LOI) değerleri taban seviye örneklerinde 2.78-3.93, orta seviye örneklerinde 1.12-2.57 ve tavan seviye örneklerinde 1.02-5.46 arasında değişmektedir. Bilindiği gibi kızdırma kaybı değerinin artması genellikle kayacın ayrışma derecesiyle doğru orantılı olup, tavan seviye örneklerinin LOI değerlerinin yüksek olması nispeten daha fazla ayrışmış olduklarını göstermektedir.

BİTLİS İGNİMBİRİTLERİNİN FİZİKO-MEKANİK ÖZELLİKLERİ (PHYSICO-MECHANICAL PROPERTIES OF BİTLİS İGNİMBRITES)

Tüf ve ignimbiritlerin fiziko-mekanik özelliklerinin belirlenmesine yönelik bir çok çalışma bulunmaktadır (Moon 1993a, b; Topal ve Doyuran 1997; Aydan ve Ulusay 2003; Şimşek ve Erdal 2004; Öner vd 2006; Korkanç 2007; Binal 2009a, b). Bu çalışmalar genellikle kaya malzeme karakterizasyonu ve tarihi yapılarda kullanılan bu tip kolay işlenebilen kayaların uzun dönem duraylılık performansları ve doğal çevre koşulları altında görülebilen bozunma olaylarının incelenmesine yönelik çalışmalardır.

Fiziksel Özellikler (Physical Properties)

Bitlis ignimbiriti taban orta ve tavan seviye örneklerinin fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla blok numunelerden karot ve parça numuneler alınmıştır (Şekil 5). Kuru, doygun, tane ve görünür porozite değerleri ISRM (2007) standartlarına uygun olarak gerçekleştirilmiş, deney sonuçları

Çizelge 4’de verilmiştir. Taban seviyeden üst seviyeye doğru gidildikçe, kuru ve doymun birim hacim ağırlığı değerlerinde belirgin bir düşüş, bunun aksine görünür porozite değerlerinde de tavan seviyeye doğru artış belirlenmiştir. Üç seviye için tane birim hacim ağırlığı değerleri birbirine yakındır. En büyük ve en küçük değerler arasındaki fark üst seviye örneklerinde, orta ve taban seviye örneklerine göre daha yüksektir. Norveç Kaya Mekanığı Topluluğu’na (NBG, 1985) göre Bitlis ignimbritleri “çok düşük birim hacim ağırlıklı” kaya sınıfındadır. Fiziksel deney sonuçları ile uyumlu olarak petrografik analizlerde, ignimbritlerin kaynaklaşma derecesi ve porozite değerlerinin taban seviyeden tavan seviyeye doğru arttığı gözlenmiştir. Porozite değerleri kayaların stabilite ve mekanik özelliklerini çok önemli oranda etkilemektedir. Atmosfer koşullarında donma-çözünme, ıslanma-kuruma süreçleri yüksek porozite değerlerine sahip kayalarda uzun dönemde dayanım azalmasına neden olmaktadır. NBG (1985)’e göre taban, orta ve tavan seviye örnekleri sırasıyla “orta”, “yüksek” ve “çok yüksek” poroziteli kayaç sınıfındadır (Çizelge 4).



Şekil 5. Fiziksel ve mekanik deneylerin gerçekleştirildiği bazı karot örneklerin görünümü
(Views of prepared and tested core samples)

Çizelge 4. Bitlis ignimbriti taban, orta ve tavan seviye örneklerinin kuru (γ_k), doymun (γ_d), tane (γ_t) birim hacim ağırlık ve porozite değerleri (Dry (γ_k), saturated (γ_d), solid (γ_t) unit weight and porosity values of three levels)

	TABAN SEVİYE			ORTA SEVİYE			TAVAN SEVİYE		
	Min.	Maks.	Ort.	Min	Maks.	Ort.	Min	Maks.	Ort.
γ_k (g/cm ³)	2.26	2.35	2.31	1.82	1.93	1.88	1.35	1.74	1.63
γ_d (g/cm ³)	2.30	2.38	2.34	2.04	2.12	2.08	1.66	2.39	1.93
γ_t (g/cm ³)	2.49	2.57	2.51	2.51	2.56	2.53	2.57	2.60	2.59
Porozite (%)	3.46	5.21	3.97	18.57	19.53	19.11	25.13	33.34	30.3

Bitlis Kalesi’nin ana yapıtaşlarını oluşturan Bitlis ignimbritlerinin donma-çözünme çevrimleri etkisindeki performanslarının belirlenmesi amacıyla örnekler, Binal vd (1998) tarafından Türkiye için önerilen eş donma çözünme çevrimi haritasında Bitlis civarı için önerilen 30 donma-çözünme çevrimi uygulanmıştır. Donma-çözünme çevrimleri esnasında örneklerin büyük çoğunluğunun parçalandığı görülmüştür. Deney sonuna kadar kalan örnekler tek eksenli sıkışma dayanımı deneylerine tabi tutulmuştur. Örneklerin donma-çözünme çevrimlerine karşı hassasiyeti Bitlis ignimbritlerinin atmosferik şartlara olan hassasiyetini ortaya koymaktadır. Bu durum, Bitlis Kalesi’nde görülen deformasyon ve duraysızlıklara ışık tutmaktadır.

Suda Dağılmaya Karşı Dayanım İndeksi Deneyi (Slake Durability Test)

İgnimbritlerin suda dağılmaya karşı hassasiyetlerinin belirlenmesi amacıyla, suda dağılmaya karşı dayanım deneyi gerçekleştirilmiştir. ISRM (2007)’ye göre iki çevrim olarak deneyler gerçekleştirilmiş, Gamble (1971)’e göre de Bitlis ignimbritleri “yüksek-çok yüksek durabiliteli” kayaç sınıfındadır (Çizelge 5).

Çizelge 5. Bitlis ignimbirit örnekleri suda dağılmaya karşı duraylılık değerleri ve sınıfları (Gamble, 1971; ISRM, 2007) (*Slake durability test results of Bitlis Ignimbrites*)

Seviye	2. çevrim sonundaki indeks (I_{d2})	Sınıflama
Taban Seviye	98.34	Çok Yüksek
Orta Seviye	98.30	Çok Yüksek
Tavan Seviye	97.50	Yüksek

Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı (UCS) Deneyi (Unconfined Compressive Strength Test)

Tek eksenli sıkışma dayanımı deneyleri ISRM (2007)'ye göre yapılmıştır. Örnekler donma-çözünme çevrimleri öncesi ve sonrasındaki UCS değerlerine göre ISRM (2007) tarafından önerilen kaya dayanım sınıflamasına göre sınıflandırılmıştır (Çizelge 6).

Çizelge 6. Bitlis ignimbirit örneklerinin tek eksenli sıkışma dayanımı sonuçları (*UCS test results of three levels of Bitlis Ignimbrites*)

Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı (MPa)							
	Donma-Çözünme Öncesi			Donma-Çözünme Sonrası			Sınıflama
	Min.	Maks.	Ort.	Min	Maks	Ort.	(ISRM, 2007)
Taban Seviye	24.85	49.86	41.12	23.40	34.13	27.63	Orta Dayanımlı Kaya
Orta Seviye	10.79	35.32	25.03	8.92	28.38	20.05	Zayıf-Orta Dayanımlı Kaya
Tavan Seviye	8.47	20.90	15.85	10.68	19.87	15.28	Zayıf Kaya

SONUÇLAR (RESULTS)

Bitlis Kalesi yapıtaşlarını oluşturan Bitlis ignimbiritinin jeolojik, petrografik, jeokimyasal ve fiziko-mekanik özelliklerini belirlemeye yönelik olarak hazırlanan bu çalışma sonucunda elde edilen bulgular aşağıdaki gibidir;

Taban, orta ve tavan olmak üzere üç farklı seviyeden oluşan Bitlis ignimbiritinin Bitlis vadisinde ve Bitlis Kalesi tip lokasyonundaki ortalama kalınlığı 30-50 m'dir. Bitlis vadisi boyunca Bitlis ignimbiritindeki bu üç seviye her yerde birlikte görülmemektedir.

Bitlis ignimbiritinin tabanında atmosferle temas halinde olan yüzeyleri koyu kahverenkli, taze kırık yüzeyleri siyah renkli olan, homojen bir görünüme sahip, oldukça iyi kaynaklanmış taban seviyesi bulunmaktadır. Camsı yapıda görülen taban seviyesinin ortalama kalınlığı 5-8 m arasında değişmektedir. Taban seviyesinin üzerine morfolojide girinti şeklinde görülen, kırmızımsı pembemsi renkli, homojen bir içyapıya sahip, oldukça iyi derecede kaynaklanmış orta seviye gelir. Orta seviye; daha küçük boyutlu, nisbeten yuvarlaklaşmış kayaç parçaları ve bol miktarda fiamme yapıları içerir. Bu seviyenin ortalama kalınlığı 7-12 m arasında değişmektedir. Bitlis ignimbiritinin en üst kısmında gri renkli, daha az kaynaklanmış tavan seviyesi bulunmaktadır. Diğer iki seviyeye göre daha kolay kırılabilen ve ufalanabilen bu seviye bol miktarda kayaç parçası, pomza ve boşluk içermektedir. Tavan seviyesinin ortalama kalınlığı 5-10 m arasında değişmektedir.

Bitlis ignimbirit örnekleri mineralojik bileşim olarak sanidin + plajiyoklaz ± anortoklaz + piroksen (ojit) + opak minerallerden oluşmaktadır. Dokusal özellikler açısından Bitlis ignimbiritinin taban, orta ve tavan arasında belirgin bir farklılık görülmeyle birlikte taban seviye örneklerinde kalıntı perlitik doku, orta seviye örneklerinde ötakstitik (eutaxitic) doku, tavan seviye örneklerinde vitrofirik doku görülmektedir.

Bitlis ignimbiriti tavan seviye örneklerinde orta ve taban seviye örneklerine göre ana oksit element içeriği bakımından daha geniş ve düzensiz değişim aralıkları görülmektedir. Bu durum tavan seviye içerisinde bol miktarda görülen litik bileşen içeriği ve fiziksel ve/veya kimyasal ayrışma ile ilişkilendirilebilir.

Kimyasal analizleri sonuçlarına göre Bitlis ignimbiriti örneklerinin bazı ayrışma indeks değerleri hesaplanmıştır. Buna göre taban seviyeden tavan seviyesine doğru Ruxton oranı (RR), Parker ayrışma indeksi (WIP) ve Yeniden uyarlanmış potansiyel ayrışma indeksi (MPWI) değerleri artarken, Vogt oranı (VR), Kimyasal alterasyon indeksi (CIA), Kimyasal ayrışma indeksi (CIW) ve kızdırma kaybı (LOI) değerlerinin azalma gösterdiği belirlenmiştir.

Yapılan fiziko-mekanik testler sonucunda taban seviyeden tavan seviyeye doğru örneklerin kuru ve doygun birim hacim ağırlık değerlerinde belirgin bir düşme görülmektedir. Bununla birlikte örneklerin tane birim hacim ağırlıkları bakımından seviyeler arasında belirgin bir farklılık görülmemiştir. Bitlis ignimbiriti taban, orta ve tavan seviye örnekleri NBG (1985)'e göre "Çok Düşük Birim Ağırlıklı" kaya sınıfında yer almaktadır.

Bitlis ignimbiriti orta ve tavan seviye örneklerinin porozite değerleri taban seviye örneklerine göre oldukça yüksek değerlerdedir. Petrografik incelemelerde taban seviyeden tavan seviyeye doğru kaynaklanma derecesinin azaldığı, boşluk miktarının arttığı görülmüştür. NBG (1985)'e göre Bitlis ignimbiriti taban seviye örnekleri "orta poroziteli", orta seviye örnekleri "yüksek poroziteli" ve tavan seviye örnekleri "çok yüksek poroziteli" kaya sınıfında yer aldığı belirlenmiştir.

Bitlis ignimbiriti farklı seviye örnekleri suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi değerleri bakımından "yüksek-çok yüksek derecede duraylı" kaya sınıfında yer aldığı belirlenmiştir.

Bitlis kalesi yapıtaşları üzerinde donma-çözünme deneyi uygulanmış, donma-çözünme çevrimleri sonucunda dayanım değişimleri incelenmiştir. 30 çevrimlik donma-çözünme deneyi sonrasında farklı seviyelere ait karotların büyük bir çoğunluğu parçalanmıştır. Bu durum Bitlis ignimbiritlerinin donma-çözünmeye karşı olan hassasiyetini göstermektedir.

Bitlis ignimbiriti farklı seviye örneklerinin tek eksenli sıkışma dayanımı deney sonuçlarına göre taban seviye örnekleri "orta dayanımlı kaya" sınıfında, orta seviye örnekleri "zayıf kaya" ile "orta dayanımlı kaya" sınıfında ve tavan seviye örnekleri "zayıf kaya" sınıfına düşmektedir. Donma çözünme öncesi ve sonrasında elde edilen tek eksenli sıkışma dayanım değerleri karşılaştırıldığında dayanım değerlerinde önemli oranda azalmaların olduğu görülmektedir. Taban seviye örneklerinde dayanım değerlerinde görülen azalmalar kayaçların farklı derecelerde kaynaklaşma, porozite ve dokusal özelliğe sahip olmaları ile ilişkilendirilmiştir.

Bitlis kalesi temel kayalarında görülen duraysızlıkların en önemli nedeninin mevsimsel donma çözünme çevrimleri etkisiyle kaya malzemesinde meydana gelen zayıflama olduğu görülmüştür.

Katkı Belirtme (Acknowledgement)

Bu çalışma TÜBİTAK 105K223 nolu projesi ile Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeler Müdürlüğü 2008-BSP-017 no'lu projesi kapsamında yapılmış olup, yazarlar ilgililere ve proje elemanlarına teşekkür ederler.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Aydan, Ö. and Ulusay, R. 2003, Geotechnical and geoenvironmental characteristics of man-made underground structures in Cappadocia-Turkey. *Engineering Geology*, 245-272pp
- Aydar, E., Gourgau, A., Ulusoy, I., Dignonnet, F., Labazuy, P., Şen, E., Bayhan, H., Kurttaş, T., Tolluoğlu, A.Ü. 2003, Morphological analysis of active Mount Nemrut stratovolcano, eastern

- Turkey: evidences and possible impact areas of future eruption. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 123, 301–312.
- Binal, A., Kasapoğlu, K.E., Gökçeoğlu, C. 1998, Eskişehir-Yazılıkaya çevresinde yüzeylenen volkanosedimanter kayaçların donma-çözünme etkisi altında bazı fiziksel ve mekanik parametrelerinin değişimi, *Yerbilimleri*, 20, 41-54.
- Binal, A. 2009a, Prediction of mechanical properties of non-welded and moderately welded ignimbrite using physical properties, ultrasonic pulse velocity, and point load index tests. *Q J Eng Geo and Hydro.*, 42,107-122.
- Binal, A. 2009b, A new laboratory rock test based on freeze–thaw using a steel chamber *Q J Eng Geo and Hydro.*, 42,179-198.
- Boray, A. 1975, Bitlis dolayının yapısı ve metamorfizması. *Türkiye Jeoloji Kur. Bült.*, 18, 81-84.
- Bozkurt, E. 2001, Neotectonics of Turkey—a synthesis. *Geodinamica Acta*, vol.14, p.3-30.
- Buket, E. and Temel, A. 1998, Major-element, trace-element, and Sr–Nd isotopic geochemistry and genesis of Varto_Mus, /volcanic rocks, Eastern Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 85, 405-422.
- Cas, R.A.F. and Wright, J.V. 1988, Volcanic Succession Modern and Ancient. Unwin Hyman Ltd., 528 p. London.
- Çağlayan, M.A., İnal, R.N., Şengün, M. and Yurtsever, A. 1983, Structural setting of Bitlis Masif. Tekeli O. and Göncüoğlu, C. eds., *Geology of the Taurus belt International symposium*, 245-254.
- Demirtaşlı, E. ve Pisoni, C. 1965, Ahlat - Adilcevaz bölgesinin jeolojisi (Van Gölü kuzeyi), *Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Dergisi*, 64, 22 - 35.
- Dewey, J.S., Hempton, W.R., Kidd, W.S., Şaroğlu, F. and Şengör, A.M.C. 1986, Shortening of Continental lithosphere: the neotectonics of Eastern Anatolian-a young collision zone: Coward Ries, eds., *Collision Tectonics da.*, Geological Society Special Publication, 19, 3-36.
- Ercan, T., Fujitani, T., Matsuda, J.I., Notsu, K., Tokel, S., Ui, T., 1990, Doğu ve Güneydoğu Anadolu Neojen-Kuvaterner volkaniklerine ilişkin yeni jeokimyasal, radyometrik ve izotopik verilerin yorumu. *MTA Dergisi* 110, 143-164.
- Fisher, V.R. and Schmincke, H.U. 1984, Pyroclastic Rocks. Springer Verlag, 471 p., Berlin-Germany.
- Gamble, J. C. 1971, Durability-plasticity classification of shales and other agrillaceous rocks. Ph.D. thesis, University of Illinois
- Göncüoğlu, M. C. ve Turhan, N., 1985, Bitlis Metamorfik kuşağı orta bölümünün temel jeolojisi. MTA Rapor No. 7707 (yayımlanmamış).
- Harnois, L. 1988, The CIW index: a new Chemical Index of Weathering. *Sedimentary Geology*, 55, 319-322.
- ISRM, 1981, Rock Characterisation. Testing and Monitoring, Edt. Brown, E.T., Pergamon Pres, Oxford, 211pp.
- ISRM, 2007, The complete ISRM suggested methods for rock characterization, testing and monitoring: 1974–2006. In: Ulusay R, Hudson JA (eds) Suggested methods prepared by the commission on testing methods, ISRM, Compilation arranged by the ISRM Turkish National Group, Kozan ofset, Ankara
- Karaoğlu, Ö., Özdemir, Y., Tolluoğlu, A.Ü., Karabıykoğlu, M., Köse, O., Froger, J.F. 2005, Stratigraphy of the volcanic products around Nemrut Caldera: implications for reconstruction of the caldera formation. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 14, 123-143.
- Ketin, I. 1977, Van Gölü ile İran sınırı arasındaki bölgede yapılan jeoloji gözlemlerinin sonuçları hakkında kısa bir açıklama, *Türk. Jeol. Kur. Bült.*, 20, 79-85.
- Korkanç, M. 2007, The Effect of geomechanical properties of ignimbrites on their usage as building stone: Nevşehir Stone (in Turkish). *Chamber of Geological Engineering of Turkey Geo Eng J*, 31(1),40-49.
- Moon, V. G. 1993a, Microstructural controls on the geomechanical behaviour of ignimbrite. *Engineering Geology*, 35(1/2),19-31

- Moon, V.G. 1993b, Geotechnical characteristics of ignimbrite: A soft pyroclastic rock type. *Engineering Geology* 35,33-48
- NBG, 1985, Norwegian Rock Mechanics Group: Handbook in engineering geology - rock. (in Norwegian) Tapir, Trondheim, Norway, 1985, 140 pp.
- Nesbitt, H.W., Young, G.M. 1982, Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *Nature* 299, 715-717.
- Öner, F., Türkmen, S., Özbek, A and Karakaya, T., 2006. Engineering properties of Hınıs Ignimbrites (Erzurum, Turkey) and their usability as a building stone. *Environmental Geology*, 50,275-284
- Özdemir, Y., Karaoğlu, Ö., Tolluoğlu, A.Ü. and Güleç, N. 2006, Volcanostratigraphy and petrogenesis of the Nemrut stratovolcano (East Anatolian High Plateau): the most recent postcollisional volcanism in Turkey. *Chemical Geology*, 226, 189-211.
- Parker, A. 1970, An index of weathering for silicate rocks. *Geol. Mag.* 107, 501-504.
- Perinçek, D. 1980, Bitlis metamorfiklerinde volkanitli Triyas. *Türkiye Jeoloji Kur. Bült.*, 23, 201-212.
- Perinçek, D. ve Özkaya, İ. 1981, Arabistan levhası kuzey kenarının tektonik evrimi, *Yerbilimleri*, 8, 91-101.
- Reiche, P., 1943, Graphic representation of chemical weathering. *J. Sediment. Petrol.* 13, 58-68.
- Roaldset, E. 1972, Mineralogy and geochemistry of Quaternary clays in the Nuinedal Area, southern Norway. *Norsk Geolisk Tidsskrift* 52, 335-369.
- Ruxton, B.P. 1968, Measures of the degree of chemical weathering of rocks. *J. Geol.* 76, 518-527.
- Şaroğlu, F. ve Güner, Y. 1981, Doğu Anadolu'nun jeomorfolojik gelişimine etki eden öğeler: Jeomorfoloji, tektonik, volkanizma ilişkileri, *TJK Bült.*, 24, 39-50.
- Şaroğlu, F. ve Yılmaz, Y. 1984, Doğu Anadolu'nun neotektoniği ve ilgili magmatizması: Ketin Simpozyumu bildirileri, 149-162.
- Şaroğlu, F. ve Yılmaz, Y. 1986, Doğu Anadolu'da neotektonik dönemdeki jeolojik evrim ve havza modelleri, *MTA Derg.*, 107, 73-94, Ankara.
- Şengör, A.M.C. 1979, The North Anatolian transform fault: its age, offset and tectonic significance, *Jour. Geol. Soc.*, 136, 269-282, London.
- Şengör, A.M.C. 1980, Türkiyenin Neotektoniğinin Esasları, TJK konferans dizisi, 40s. Ankara.
- Şengör, A.M.C. and Kidd, W.S.F. 1979, Post-collisional tectonics of the Turkish-Iranian plateau and a comparison with Tibet. *Tectonophysics*, 55, 361-376.
- Şengör, A.M.C., Görür, N. and Şaroğlu, F. 1985, Strike slip faulting, and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study; Strike-slip deformation, basin formation and sedimentation, Biddle and Christie-Blick, ed., Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication, 37, 227-264.
- Şimşek, O. ve Erdal, M. 2004, Ahlat taşının (ignimbirit) bazı mekanik ve fiziksel özelliklerinin araştırılması. *G.Ü. Fen Bilimleri Dergisi*, 17(4), 71-78.
- Topal, T. and Doyuran, V. 1997, Engineering geological properties and durability assesment of the Cappadocia Tuff. *Engineering Geology*, 175-187pp
- Türkecan, A. 1991, Muş yöresindeki pliyosen yaşlı volkanitlerin petrolojisi. *MTA Dergisi*, 112, 85-101.
- Ulusoy, İ., Labazuy, P., Aydar, E., Ersoy, O. and Çubukçu, E. 2008, Structure of the Nemrut caldera (Eastern Anatolia, Turkey) and associated hydrothermal fluid circulation. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 174, 269-283.
- Vogt, T. 1927, Sulitjelfmafeltets geologiog petrografi. Norges Geologiske Undersokelse 121, 1-560 (in Norwegian, with English abstract).
- Yılmaz, Y., Dilek, Y. ve Işık, H. 1981, Gevaş (Van) ofiyolitinin jeolojisi ve sinkinematik bir makaslama zonu: *TJK Bült.*, 24/1, 37-44.